我国汞污染研究与履约进展

冯新斌[1*] 史建波[2] 李 平[1] 阴永光[2] 江桂斌[2]
1 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室 贵阳 550081
2 中国科学院生态环境研究中心 北京 100085

摘要 汞是毒性较强的重金属污染物之一，也是一种全球性的污染物。旨在控制和削减全球人为汞排放和使用的国际公约——《关于汞的水俣公约》（以下简称《水俣公约》）已于2017年8月正式生效，这标志着汞污染已成为当前重要的全球环境问题。目前，我国是汞生产、使用和排放量最大的国家，面临着汞污染控制和履行汞公约的巨大压力。基于此背景，文章系统阐述了我国汞的生产、使用和排放，汞的迁移转化与健康效应，《水俣公约》和我国汞污染控制及履约进展，并展望了需要重点开展研究的5个方面，以期为我国环境汞污染控制和履行《水俣公约》作出贡献。

关键词 汞污染，水俣公约，研究进展，中国

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20201015002

汞是毒性较强的重金属污染物之一，也是一种全球性的污染物。排放到大气中的汞可通过大气环流在全球范围内进行长距离传输，并沉降到陆地和水生生态系统，对生态环境和人体健康造成威胁。第一次工业革命以来的人为活动已导致全球大气、水和土壤中汞的含量显著增加，对全球环境产生了重大的不利影响[1]。2013年1月，一项旨在控制和削减全球人为汞排放和使用的国际公约——《关于汞的水俣公约》（以下简称《水俣公约》）获得通过，并于2017年8月正式生效，这标志着汞污染已成为当前重要的全球环境问题。

作为首批签约国，我国是目前汞生产、使用和排放量最大的国家，每年通过人为活动向大气排汞500—600 t，约占全球人为排放量的30%左右[2,3]。因此，深入研究我国环境中汞的来源、分布、健康风险及污染控制是国家环境保护和履行国际汞公约的重大需求。

1 我国汞的生产、使用和排放

汞具有广泛的用途。我国对汞及其化合物的使用历史十分悠久。古代被广泛利用的含汞化合物——辰砂（HgS，又称朱砂、丹砂），是古人追求长生不

*通讯作者
资助项目：国家自然科学基金委员会创新群体项目（41921004），中国科学院创新交叉团队项目（JCTD-2018-04）
修改稿收到日期：2020年10月27日

老“炼丹术”的重要原料，也是一种广泛应用的矿石中药材。同时，古人利用汞与含金矿石中的金生成汞齐的性质，实现提炼金的效果。如今，随着科技的不断发展，汞及其化合物的应用更加广泛，包括化学化工、医药产业、冶金行业、电器仪器、交通运输和军事生产等领域[4]。

我国是全球最大的汞生产、使用和排放国[5]。我国汞矿资源丰富，开采量位居世界前列。2017 年世界汞矿产量约为 3 790 t，我国占 89%[4]。我国汞使用量从 2005 年的 803±95 t 增加到 2011 年的峰值 1 272±110 t，2014 年为 903±115 t[6]。聚氯乙烯（PVC）生产是最大的用汞行业，占全球汞总需求量的 60% 以上。2011 年我国聚氯乙烯、体温计和血压计生产用汞量分别为 878 ± 61 t、152 ± 83 t 和 97 ± 10 t[6]。在《水俣公约》的背景下，全球限制含汞产品的使用愈发严格，亟待开发低汞触媒或无汞替代产品。

*汞可以通过自然和人为活动排放进入大气、土壤和水体。*其自然源主要包括火山、地热等地质活动，以及水体挥发和土壤释放等[7]；其人为源主要包括燃煤电厂、工业锅炉、有色金属冶炼和水泥生产等[2,8]。2018 年全球释放到大气中的汞为 8 000 t，其中自然过程和人为活动释放分别为 5 500 t 和 2 500 t[9]。与人为源不同，自然源排汞绝大部分（>95%）是气态单质汞。大气汞的自然来源复杂多样，且受环境因素的影响显著，因此大气汞的自然来源研究一直是国际学术界的难点。特别要指出的是，部分自然源的汞是人为源排放汞沉降到地表后的再释放造成的。基于大气/土壤、大气/水体和大气/植物叶片汞交换通量的研究及我国土壤汞数据的更新，笔者研究组系统构建了我国汞的自然源排放模型，并通过野外监测数据对模型优化，获得了我国高精度的自然源汞排放清单[10]。研究结果表明，我国自然源年排放汞量为 465.1 t，基本与人为源排放相当；其中，556.5 t 来自土壤，9.0 t 来自陆地水体，同时植被年吸收大气汞 100.4 t。80% 的自然源汞排放来自草地与农田生态系统，且具有显著的季节性规律，在夏季的排放量占年总排放量的 51%[10]。

自新中国成立以来特别是改革开放之后，我国人为源汞排放量迅速增加。初期为 13 t/a，1978 年增加到 150 t，2010 年剧增到 500—800 t，2013—2017 年从 571 t 减少到 444 t[11]。我国 1978—2014 年人为源大气汞排放累计 13 294 t，其中气态单质汞（Hg^0）、气态二价汞（Hg^{II}）和颗粒态汞（Hg^p）分别占 58.2%、37.1% 和 4.7%[2]。同时，我国人为源大气汞排放的来源和形态分布也发生了显著变化，1998 年之前最大的排放源为工业锅炉，1999—2004 年为锌冶炼，2005—2008 年为燃煤电厂，2009 年以后为水泥工业[2]。当前，燃煤工业锅炉和水泥行业成为大气汞排放控制的重点行业。大气汞排放形态比例从 1978 年的 65%：28%：7%（Hg^0：Hg^{II}：Hg^p）转变到 2014 年的 51%：46%：3%（Hg^0：Hg^{II}：Hg^p）。Hg^{II} 排放比例的增加会对局地环境产生重要影响，而水泥行业 Hg^{II} 的排放量占到全国 Hg^{II} 排放量的 45%[2]。

2 汞的迁移转化与健康效应

*汞是一种全球性污染物。*汞是常温常压下唯一呈液态并易流动的金属，可以多种形态在各种环境和生物介质中广泛存在，但是汞在地壳中的含量很低。自然环境中，汞可以通过挥发、降水、沉降和溶解等作用不断进行迁移，也可通过氧化、还原、甲基化及去甲基化等过程进行形态之间的相互转化[12]。由于气态单质汞在大气中具有较长的居留时间，能在环境中持久存在，一旦经释放进入环境，可以随着大气环流进行长距离传输，经干湿沉降能到达偏远甚至极地地区的水生生态系统，造成全球性的汞污染[13-15]。

*汞的毒性效应与形态密切相关。*汞根据形态可分为无机汞（如元素汞、二价汞等）和有机汞（如甲基汞、乙基汞等）。元素汞具有挥发性，由于高扩散性和脂溶性，可经呼吸、皮肤或消化道等途径进入生物

体，并对免疫、内分泌和中枢神经系统造成损伤[16]。二价汞也可以对生物体产生一定的毒性作用，但是由于生物可利用性较低，且无法穿透血脑屏障，毒性相对较小[16]。有机汞的毒性显著高于无机汞，甲基汞可以通过肠道吸收进入生物体并随血液到达器官和组织，作用于中枢神经系统引起神经毒性和神经发育毒性，对大脑和小脑造成不可逆转的损伤[16]。此外，甲基汞具有很强的生物富集和生物放大作用，水生食物链顶端的鱼类中甲基汞含量比水体高 10^6—10^7 倍，因此食用鱼肉及其他水产品是人体甲基汞暴露的主要途径之一[17]。不过，我国鱼肉和水产品的汞含量总体较低[18-20]，大部分低于我国水产品安全限值（肉食性 1.0 μg/g；其他 0.5 μg/g）。这与我国大部分鱼类是人工养殖、食物链简单、鱼体生长速度快等因素有关[21]。

近年的一些研究表明，水稻是甲基汞富集作物和特定居民甲基汞暴露的主要途径之一。稻米对甲基汞的平均生物富集因子是无机汞的 800 倍[22]。贵州汞矿区大米甲基汞含量的变化范围为 1.9—174 ng/g[22-24]，导致相关汞矿区居民的甲基汞暴露 94%—98% 来源于稻米摄入，这说明该汞矿区居民暴露甲基汞的主要途径是食用大米[25]。贵州汞矿区、土法炼锌区、燃煤电厂区及对照区的研究表明，居民食用大米、蔬菜、肉类对其总汞暴露都有贡献，但是大米摄入是其甲基汞暴露的主要途径（>90%）[26]。

我国一般居民甲基汞暴露的总体风险较低。我国鱼肉等水产品的汞含量整体较低，一般人群食用水产品的甲基汞暴露风险较低[27]。我国南方 7 省份稻米总汞和甲基汞的平均含量为 10.1 ng/g 和 2.47 ng/g，汞含量总体较低[27]。我国南方城市和农村居民食用鱼肉和大米每日甲基汞摄入量分别为 0.020 μg/kg 和 0.028 μg/kg，远远低于国际限值（0.23 μg/kg）[28]。但是，在沿海地区部分人群因大量食用水产品也存在甲基汞暴露的健康风险。例如，东部沿海某地渔民头发甲基汞含量高达 9.5 mg/kg[29]。此外，一些汞污染地区的居民仍然存在一定风险。例如，某汞矿区居民头发甲基汞平均含量为 2.07 μg/g[30]。

3 《水俣公约》

“水俣病”事件引起世界各国对汞污染的广泛关注。大量汞及其化合物的生产、使用和排放造成全球范围内的汞污染。汞污染事件最具有代表性的是 20 世纪中期发生在日本水俣湾的汞污染事件，又被称“水俣病”事件。由于日本 Chisso 公司将含汞废水排入水俣湾，生活在周边的居民食用高甲基汞含量的水产品后发生了严重的汞中毒，轻者口齿不清、手足变形，重者精神失常甚至死亡。日本至少有 5 万人因此受到不同程度的影响，被确认“水俣病”病例达 2 000 多例。“水俣病”事件造成了严重的环境与健康危害，引起了世界各国对汞污染的广泛关注。

《水俣公约》旨在全球范围内控制和减少汞排放。为了在全球范围内控制和减少汞排放，减少汞对环境和人类健康造成的损害，联合国环境规划署经过 5 轮政府间谈判，于 2013 年 1 月 19 日达成具有全球法律约束力的汞文书——《水俣公约》。公约已于 2017 年 8 月16日正式生效。公约包括 35 条正文、5 个附件，从全生命周期对汞提出管理要求，涵盖汞的供应和贸易、添汞产品、使用汞或汞化合物的生产工艺、土法炼金、点源排放、面源排放、汞废物以外的汞环境无害化临时储存、汞废物、污染场地、财政资源和财务机制、能力建设、技术援助和技术转让、健康、公共信息、认识和教育等方面。

《水俣公约》对汞的生产、排放、使用、贸易等方面做出严格规定。《水俣公约》限定了汞的使用和排放，并确立减排时间表——要求各签约国要减少大气汞排放，尤其是燃煤电厂、燃煤工业锅炉、有色金属冶炼、垃圾焚烧和水泥制造等行业的汞排放。例如，要求各签约国将含汞电池、开关、继电器、化妆品、荧光灯、农药、气压计、体温计、血压计、温度

计在内的多个产品在2020年之前退出市场，或是达到《水俣公约》规定的安全标准；要求逐步减少对牙科汞合金的使用；要求2018年淘汰使用汞及其化合物作为催化剂的乙醛生产，2025年淘汰氯碱生产，2020年聚氯乙烯生产的汞使用减少至2010年的50%；要求消除混汞法土法炼金，消除露天和居民区焚烧汞合金等。此外，《水俣公约》还针对汞暴露敏感人群的保护作出了具体规定：要求加强卫生保健专业人员的培训，提高医疗服务水平，更好地诊断和治疗与汞危害相关的疾病。

4 我国汞污染控制及履约进展

作为汞的生产、使用和排放大国，我国积极响应联合国环境规划署对改善全球汞污染问题做出的努力。2013年10月10日，我国作为首批签约国签署《水俣公约》；2016年4月28日，全国人民代表大会常务委员会正式审议并批准公约的决定；我国政府于2016年8月31日正式向联合国交存公约批准文书，成为第30个批约国。

目前，我国正在开采的汞矿主要集中在陕西省。按照公约要求，我国将在公约生效15年后（即2032年）关闭境内所有汞矿，然而汞矿关闭之后将面临经济社会转型的难题。

我国使用汞最多的行业是聚氯乙烯的生产，其以汞为触媒、煤炭为主要原料来进行生产。在过去的10多年内，我国聚氯乙烯行业发展迅速，汞使用量巨大。因此，亟待研发无汞或者低汞新型催化剂，从原料质量、低汞触媒、工艺控制、设备质量与使用等各环节严格管控，以降低汞触媒单耗[31]。我国第二大用汞行业是计量仪器制造业，主要用于体温计和血压计的生产。我国第三大用汞行业是电池生产。近年来，我国体温计、血压计和电池生产的用汞量已经开始大幅降低。

大气汞污染防治是我国履约工作的重中之重。我国人为源大气汞排放量居世界首位。在环境汞污染及《水俣公约》履约压力下，汞排放控制成为我国大气治理中继脱硫、脱硝之后的下一目标。2019年，吴清茹等[32]建议明确燃煤电厂总量控制目标，从替代性措施和控制技术应用2个方面控制大气汞排放；推动燃煤电厂大气汞排放限值的修订；强化多污染物控制技术的协同脱汞效果并提高技术的稳定性，同时开展高效低价专门脱汞技术的研发。自2009年以来，水泥工业成为我国最大的人为汞排放源，2014年汞排放量达到145 t，我国水泥工业控汞压力日益增大[2]；亟待建立和完善控汞和汞减排标准体系，开发、应用和总结出优化可行的技术（BAT）和更好的环境实践（BEP），并在新建水泥厂应用[33]。

我国一直采取积极措施进行环境汞污染研究和汞污染控制。科学技术部于2013年启动国家重点基础研究发展计划项目“我国汞污染特征、环境过程及减排技术原理”。该项目由中国科学院地球化学研究所联合国内6家优势单位进行攻关，针对我国产汞、用汞、排汞量大造成较严重的汞污染形势，以及《水俣公约》履约需求，对我国大气汞源汇及迁移规律、汞污染的环境过程与效应、典型行业烟气汞控制与减排技术原理等进行了深入的研究；构建了基于工艺过程的大气汞排放因子模式，建立高分辨率的人为源分形态大气汞排放清单；全面开展不同地表系统（如海洋、森林和农田等）与大气间汞迁移的现场观测，建立了国际先进的自然源排汞模型和我国的自然源排汞清单；建立我国大气汞监测网络，对我国典型区域的大气汞形态和湿沉降通量进行长期同步连续监测。研究发现，三峡水库“汞活化效应”不明显，渤海汞污染风险较小，而贵州汞矿区存在一定的汞污染风险。项目开发出碳基和锰基氧化物为主的烟气汞高效吸附材料和高效零价汞催化材料，构建多效催化体系实现多污染物协同控制，开发出具有国际先进水平的复合烟气硫汞烟气一体化吸收回收技术。该项目研究成果为我国汞污染控制和履行《水俣公

约》提供了重要理论和技术支持。

我国已启动履行《水俣公约》能力建设项目。在《水俣公约》生效之前，环境保护部（现“生态环境部”）联合相关部委于2017年8月15日共同发布《水俣公约》在我国生效的公告；并根据《水俣公约》要求，发布了一系列有关汞生产、使用和排放的管理措施。为推动全面履约并提高我国的汞履约能力，环境保护部环境保护对外合作中心（现“生态环境部对外合作与交流中心”）与世界银行共同启动中国履行《水俣公约》能力建设项目。该项目拟通过开展调查、监测和战略制定等活动，完成中国履约国家战略的编制，并在试点省市开展汞流向报告制度、含汞污染地块风险评估、含汞废物回收处置技术可行性研究、大气汞监测能力提高和成果宣传等试点活动，以提高试点省市和国家的履约能力。

5 结语

我国汞污染研究的基础薄弱，尚无法为国家汞减排、污染防治和风险管控等提供全面的科技支撑。我国是目前汞生产、使用和排放量最大的国家，面临着比其他国家更严峻的汞污染防控及履约压力。因此，需要在5个方面开展深入研究：① 我国环境汞的自然来源及先前沉降汞的再排放；② 我国大气汞的长距离传输和大气汞质量平衡研究；③ 我国沿海地区和汞污染地区居民汞暴露风险；④ 聚氯乙烯行业低汞触媒或替代产品研发；⑤ 典型人为汞排放源减排技术研发。通过科学研究和技术研发，满足我国汞污染控制和履行国际汞公约的重大科技需求。

参考文献

1 Governing Council of the United Nations Environment Programme. Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. Geneva: UNEP, 2013.

2 Wu Q, Wang S, Li G, et al. Temporal trend and spatial distribution of speciated atmospheric mercury emissions in China during 1978-2014. Environmental Science & Technology, 2016, 50(24): 13428-13435.

3 Wang S X, Zhang L, Wang L, et al. A review of atmospheric mercury emissions, pollution and control in China. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2014, 8(5): 631-649.

4 George M W. 2017 Minerals Yearbook: Mercury [advance release]. [2020-11-06]. https://www.usgs.gov/centers/nmic/mercury-statistics-and-information.

5 菅小东, 沈英娃, 姚薇, 等. 我国汞供需现状分析及削减对策. 环境科学研究, 2009, 22(7): 788-792.

6 Lin Y, Wang S X, Wu Q R, et al. Material flow for the intentional use of mercury in China. Environmental Science & Technology, 2016, 50(5): 2337-2344.

7 Gustin M S. Are mercury emissions from geologic sources significant? A status report. Science of the Total Environment, 2003, 304(1-3): 153-167.

8 Zhang L, Wang S X, Wang L, et al. Updated emission inventories for speciated atmospheric mercury from anthropogenic sources in China. Environmental Science & Technology, 2015, 49(5): 3185-3194.

9 United Nations Environment Programme. Global Mercury Assessment 2018. Geneva: UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch, 2019.

10 Wang X, Lin C J, Yuan W, et al. Emission-dominated gas exchange of elemental mercury vapor over natural surfaces in China. Atmospheric Chemistry and Physics, 2016, 16(17): 11125-11143.

11 Liu K, Wu Q, Wang L, et al. Measure-specific effectiveness of air pollution control on China’s atmospheric mercury concentration and deposition during 2013-2017. Environmental Science & Technology, 2019, 53(15): 8938-8946.

12 Obrist D, Kirk J L, Zhang L, et al. A review of global

environmental mercury processes in response to human and natural perturbations: Changes of emissions, climate, and land use. Ambio, 2018, 47(2): 116-140.

13 Bargagli R, Agnorelli C, Borghini F, et al. Enhanced deposition and bioaccumulation of mercury in Antarctic terrestrial ecosystems facing a coastal polynya. Environmental Science & Technology, 2005, 39(21): 8150-8155.

14 Negri A, Burns K, Boyle S, et al. Contamination in sediments, bivalves and sponges of Mcmurdo Sound, Antarctica. Environmental Pollution, 2006, 143(3): 456-467.

15 Jiang G B, Shi J B, Feng X B. Mercury pollution in China. Environmental Science & Technology, 2006, 40(12): 3672-3678.

16 Clarkson T W, Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds. Critical Reviews in Toxicology, 2006, 36(8): 609-662.

17 Mergler D, Anderson H A, Chan L H M, et al. Methylmercury exposure and health effects in humans: A worldwide concern. Ambio, 2007, 36(1): 3-11.

18 Cheng J P, Gao L L, Zhao W C, et al. Mercury levels in fisherman and their household members in Zhoushan, China: Impact of public health. Science of the Total Environment, 2009, 407(8): 2625-2630.

19 Li P, Feng X, Liang P, et al. Mercury in the seafood and human exposure in coastal area of Guangdong Province, South China. Environmental Toxicology and Chemistry, 2013, 32(3): 541-547.

20 Yan H Y, Li Q H, Yuan Z H, et al. Research progress of mercury bioaccumulation in the aquatic food chain, China: A review. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2019, 102(5): 612-620.

21 Cheng H F, Hu Y N. Understanding the paradox of mercury pollution in China: High concentrations in environmental matrix yet low levels in fish on the market. Environmental Science & Technology, 2012, 46(9): 4695-4696.

22 Zhang H, Feng X B, Larssen T, et al. Bioaccumulation of methylmercury versus inorganic mercury in rice (*Oryza sativa* L.) grain. Environmental Science & Technology, 2010, 44(12): 4499-4504.

23 Horvat M, Nolde N, Fajon V, et al. Total mercury, methylmercury and selenium in mercury polluted areas in the province Guizhou, China. The Science of the Total Environment, 2003, 304(1-3): 231-256.

24 Qiu G L, Feng X B, Li P, et al. Methylmercury accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) grown at abandoned mercury mines in Guizhou, China. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(7): 2465-2468.

25 Feng X B, Li P, Qiu G L, et al. Human exposure to methylmercury through rice intake in mercury mining areas, Guizhou Province, China. Environmental Science & Technology, 2008, 42(1): 326-332.

26 Zhang H, Feng X B, Larssen T, et al. In inland China, rice, rather than fish, is the major pathway for methylmercury exposure. Environmental Health Perspectives, 2010, 118(9): 1183-1188.

27 Li P, Feng X B, Yuan X B, et al. Rice consumption contributes to low level methylmercury exposure in Southern China. Environment International, 2012, 49: 18-23.

28 Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Summary and Conclusions of the Sixty-first Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Rome: JECFA, 2003.

29 Gao Y, Yan, C H, Tian Y, et al. Prenatal exposure to mercury and neurobehavioral development of neonates in Zhoushan city, China. Environmental Research, 2007, 105(3): 390-399.

30 Li P, Feng X B, Chan H M, et al. Human body burden and dietary methylmercury intake: The relationship in a rice-consuming population. Environmental Science & Technology, 2015, 49(16): 9682-9689.

31 曹战国, 肖国营, 曹贺鸣. 我国电石法PVC行业面对《关于汞的水俣公约》时限挑战须采取的积极措施及建议. 聚氯乙烯, 2018, 46(10): 1-11.

32 吴清茹, 赵子鹰, 杨帆, 等. 中国燃煤电厂履行《关于汞的水俣公约》的差距与展望. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(10): 52-60.

33 李淑珍, 李洪枚, 王新春, 等. 水泥工业控汞对策研究. 新型建筑材料, 2018, 45(1): 114-117,125.

Progress of Mercury Pollution Research and Implementation of Minamata Convention in China

FENG Xinbin[1*] SHI Jianbo[2] LI Ping[1] YIN Yongguang[2] JIANG Guibin[2]

（1 State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China;

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China）

Abstract Mercury (Hg) is one of the most toxic heavy metal and a global pollutant. The Minamata Convention on mercury entered into force in August 2017, which aims to control and reduce global anthropogenic Hg emissions and use, and highlights that Hg pollution has become an important global environmental issue. At present, China is one of the larger countries on Hg production, use, and emission, which faced with great pressure of Hg pollution control and implementation of the Convention. Based on this background, this paper systematically describes the production, use, and emission of Hg in China, the migration, transformation, and health effects of Hg, the Minamata Convention on mercury, and the progress of Hg pollution control and implementation of Minamata Convention in China, and also points out five aspects on Hg research in China, which hopes to contribute to the environmental Hg pollution control and the implementation of the international convention in China.

Keywords mercury pollution, Minamata Convention, research progress, China



冯新斌 中国科学院地球化学研究所所长、研究员，环境地球化学国家重点实验室主任。中国矿物岩石地球化学学会秘书长和环境地质地球化学专业委员会主任委员，国家自然科学基金委杰出青年基金获得者，国家“973”项目首席，国家自然科学基金委创新群体项目首席，*Science of the Total Environment* 副主编。主要研究领域包括：有害重金属元素的生物地球化学循环与人体健康、重金属污染环境修复和非传统稳定同位素地球化学研究。E-mail: fengxinbin@vip.skleg.cn

FENG Xinbin Director of Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences (CAS), Director and Full Professor of State Key Laboratory of Environmental Geochemistry. He is the Secretary General of Chinese Society for Mineralogy Petrology and Geochemistry and Director of Committee of Environmental Geology and Geochemistry. He hosted the National Science Fund for Distinguished Young Scholars of National Natural Science Foundation of China (NSFC). He was Chief Scientist of National Program on Key Basic Research Project. Currently, he is Chief Scientist of NSFC Innovative Research Group. He serves as Associate Editor of *Science of the Total Environment*. His current research interests include biogeochemical cycle of heavy metal and human health, environmental remediation of heavy metal pollution, and nontraditional stable isotope geochemistry. E-mail: fengxinbin@vip.skleg.cn

*Corresponding author

■责任编辑：张勇